

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-014927

(43)Date of publication of application : 17.01.1997

(51)Int.Cl.

G01B 11/16

G01L 1/00

G02B 6/00

(21)Application number : 07-184687

(71)Applicant : NKK CORP

(22)Date of filing : 28.06.1995

(72)Inventor : MORIMOTO TADASHI

YANO TATSUO

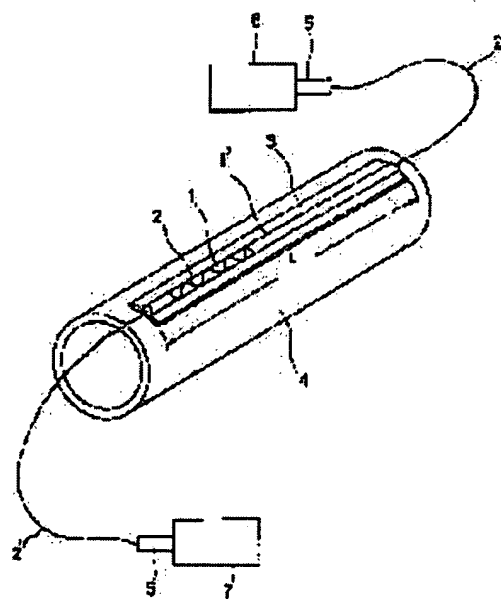
ONO NAGAYUKI

(54) OPTICAL FIBER STRAIN SENSOR AND ITS MANUFACTURING METHOD AND METHOD FOR MEASURING STRUCTURE USING OPTICAL FIBER STRAIN SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To accurately obtain the amount of deformation and strain of a structure from the amount of light transmission loss and to obtain a sensor which can be easily mounted to the structure by spirally forming an optical fiber being closely adhered to the inner-periphery surface of a metal pipe.

CONSTITUTION: A spiral optical fiber 2 is inserted into a metal pipe (for example, one made of stainless steel) 1 being inscribed inside the pipe in the optical fiber strain sensor 1'. The optical fiber 2 is in single or multiple mode and the entire surface of optical fiber is covered with a primary jacket. In the optical fiber 2, it is important to set the initial radius of curvature to a specific value. Then, a strain is generated in the metal pipe 1 according to the strain generated in a pipeline 4 and the amount of transmission loss of light generated from a light source 6 is measured by a power meter 7 according to the change in the radius of curvature of the optical fiber 2. Then, the radius of curvature is calculated from the relationship between the radius of curvature of the optical fiber 2 and the amount of light transmission loss and then the strain of the metal pipe 1 is calculated, thus obtaining the



BEST AVAILABLE COPY

distortion of the pipeline

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3209049

[Date of registration] 13.07.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right] 13.07.2004

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-14927

(43) 公開日 平成9年(1997)1月17日

(51) Int. Cl. <sup>4</sup>	識別記号	片内整理番号	P I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/16			G 0 1 B 11/16	Z
G 0 1 L 1/00			G 0 1 L 1/00	B
G 0 2 B 6/00			G 0 2 B 6/00	B

審査請求 未請求 請求項の数5 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-184637

(22) 出願日 平成7年(1995)6月28日

(71) 出願人 000004123

日本钢管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72) 発明者 森本 匡

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本钢管株式会社内

(72) 発明者 矢野 遼夫

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本钢管株式会社内

(72) 発明者 小野 修幸

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本钢管株式会社内

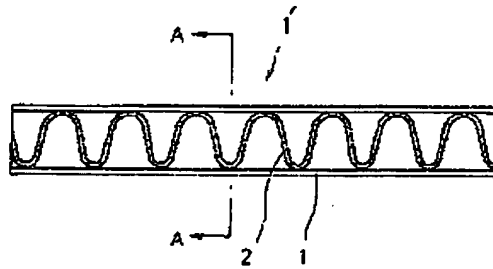
(74) 代理人 弁理士 潮谷 奈津夫

(54) 【発明の名称】 光ファイバー歪みセンサーおよびその製造方法並びに光ファイバー歪みセンサーを用いた構造物の歪み測定方法

(57) 【要約】

【目的】 構造物の歪みが精度よく求められる光ファイバー歪みセンサー及びその製造方法並びにそれを用いた構造物の歪み測定方法を提供する。

【構成】 金属管1 とその内周面に接してスパイラル状に形成された光ファイバー2 とからなる。センサーの所望の歪み測定範囲及びセンサー感度が得られるように、金属管の長さ・内径、光ファイバーの長さ・直径・曲率半径・光伝送損失量及び金属管の歪み間の関係式に基づき、金属管の長さ・内径、光ファイバーの長さ・直径を決める製造法。上記と同様にして、金属管の長さ・内径、光ファイバーの初期曲率半径を決める製造法。所定長の光ファイバーを所定長の金属管の一端から内周面に密着させてスパイラル状に形成しつつ挿入し、管他端でその先端を受け止め、後端を管の一端で止めることにより、光ファイバーの初期曲率半径を目標値に調節する。センサーを測定対象物に溶接で取り付け測定する。



(2)

特開平9-14927

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属管と前記金属管の内周面に密着してスパイラル状に形成された光ファイバーとからなることを特徴とする光ファイバー歪みセンサー。

【請求項2】 請求項1記載の光ファイバー歪みセンサーの製造方法であって、前記光ファイバー歪みセンサーの所望の歪み測定範囲およびセンサー感度が得られるように、

前記金属管の長さ、前記金属管の内径、前記光ファイバーの長さ、前記光ファイバーの直径、前記金属管の歪み、前記光ファイバーの曲率半径および前記光ファイバーの光伝送損失量との間で成り立つ関係式に基づき、前記金属管の長さ、前記金属管の内径、前記光ファイバーの長さおよび前記光ファイバーの直径を決定することを特徴とする、光ファイバー歪みセンサーの製造方法。

【請求項3】 請求項1記載の光ファイバー歪みセンサーの製造方法であって、前記光ファイバー歪みセンサーの所望の歪み測定範囲およびセンサー感度が得られるように、

前記金属管の長さ、前記金属管の内径、前記光ファイバーの長さ、前記光ファイバーの直径、前記金属管の歪み、前記光ファイバーの曲率半径および前記光ファイバーの光伝送損失量との間で成り立つ関係式に基づき、前記金属管の長さ、前記金属管の内径および前記光ファイバーの初期曲率半径を決定することを特徴とする、光ファイバー歪みセンサーの製造方法。

【請求項4】 所定長さの光ファイバーを、所定長さの金属管の一端から他端に向けて前記金属管の内周面に密着させてスパイラル状に形成させつつ挿入し、前記金属管の前記他端において前記光ファイバーの挿入の先端を受け止め、前記光ファイバーの挿入の後端を前記金属管の前記一端で押し止め、このようにしてスパイラル状に形成される前記光ファイバーの初期曲率半径を目標の設計値に調節することによって、前記金属管内部にスパイラル状に形成された前記光ファイバーを内接させることを特徴とする、光ファイバー歪みセンサーの製造方法。

【請求項5】 請求項1記載の光ファイバー歪みセンサーを、測定対象物の表面に対して溶接によって取り付け、このようにして取り付けられた前記光ファイバー歪みセンサーを用いて前記測定対象物の歪みを測定することを特徴とする光ファイバー歪みセンサーを用いた構造物の歪み測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、光ファイバーを利用して構造物の変形量を測定するための光ファイバー歪みセンサーに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光ファイバー歪みセンサーに関する従来技術として、例えば特開昭60-219503号公報に

は、パイプ状、筒状またはひも状の物体の外周面または外周に形成された溝内に、光ファイバーをスパイラル状に巻き回したものが開示されている（以下、先行技術という）。

【0003】図7は、先行技術に記載された光ファイバー歪みセンサーを示す概略斜視図である。この光ファイバー歪みセンサー9は、パイプ8の外周面に光ファイバー2が所定ピッチPでスパイラル状に巻き回され、光ファイバー2の両端にコネクタ5を備えたものである。また、図8は、図7に示した光ファイバー歪みセンサー9をシステム化した例を説明する図である。光ファイバー歪みセンサーが取り付けられた構造物等が変形すると、これに伴い光ファイバー2が変形し、この変形前後における光伝送損失量の変化を検知し、この光伝送損失量の変化量を用いて構造物等の変形量を求めようとするものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記先行技術に記載された光ファイバー歪みセンサーは、パイプ状、筒状またはひも状の物体の外周面に、光ファイバーをスパイラル状に巻き回すものであり、当該測定前における光ファイバーの曲率（以下、「初期曲率」という）はパイプ等の外径と光ファイバーのピッチに応じて決まる。しかしながら、このような製作方法および構造の光ファイバー歪みセンサーにおいては、パイプ8の外周面に巻いただけでは、等ピッチに設定したくとも位置が決まらず、バラツキをもった初期曲率となることが予測される。従って、スパイラルのピッチを精度よく形成することが困難である。

【0005】これに対して、パイプ等の外周面に溝を形成し、この溝内に光ファイバーをスパイラル状に巻き回して製作する場合には、初期曲率を精度よく設定することはできるであろうが、変形後の光ファイバーの曲率は、溝の拘束を受け、光伝送損失量から構造物の変形量や歪みを求めることが困難であった。更に、変形時に溝の中を光ファイバーが滑動するわけではないので、光ファイバー自体に応力が発生し、光ファイバーが破断したり、屈曲したりする可能性もあった。

【0006】また、光伝送損失量から歪みを正確に求めるためには、光ファイバー歪みセンサーの構造物への取り付け方法が重要であるが、これについて先行技術には特に開示はされていない。

【0007】従って、この発明の目的は、上記のような問題を解決することによって、光伝送損失量から構造物の変形量および歪みを精度よく求めることができ、しかも、所望の歪み測定範囲およびセンサー感度を有し、更に、構造物への取り付けを容易に行なうことができる光ファイバー歪みセンサーおよびその製造方法並びに光ファイバー歪みセンサーを用いた構造物の歪み測定方法を提供することにある。

(3)

特開平9-14927

3

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明の光ファイバー歪みセンサー（以下、「第1発明」という）は、金属管と前記金属管の内周面に密着してスパイラル状に形成された光ファイバーとからなることに特徴を有するものである。なお、この明細書において、光ファイバーとは、特に断らない限り、光ファイバー素線の表面を1種または2種以上の被覆材によって被覆されたものをいうものとする。

【0009】この発明の光ファイバー歪みセンサーの製造方法（以下、「第2発明」という）は、第1発明の光ファイバー歪みセンサーの製造方法であって、前記光ファイバー歪みセンサーの所望の歪み測定範囲

（ $\epsilon, \dots$ ）およびセンサー感度（ $s$ ）が得られるように、前記金属管の長さ（ $L$ ）、前記金属管の内径（ $D$ ）、前記光ファイバーの長さ（ $L_f$ ）、前記光ファイバーの直径（ $d$ ）、前記金属管の歪み（ $\epsilon$ ）、前記光ファイバーの曲率半径（ $R$ ）および前記光ファイバーの光伝送損失量（ $\alpha$ ）との間で成り立つ関係式に基づき、前記金属管の長さ（ $L$ ）、前記金属管の内径（ $D$ ）、前記光ファイバーの長さ（ $L_f$ ）および前記光ファイバーの直径（ $d$ ）を決定することに特徴を有するものである。

【0010】この発明の別の光ファイバー歪みセンサーの製造方法（以下、「第3発明」という）は、第1発明の光ファイバー歪みセンサーの製造方法であって、前記光ファイバー歪みセンサーの所望の歪み測定範囲（ $\epsilon, \dots$ ）およびセンサー感度（ $s$ ）が得られるように、前記金属管の長さ（ $L$ ）、前記金属管の内径（ $D$ ）、前記光ファイバーの長さ（ $L_f$ ）、前記光ファイバーの直径（ $d$ ）、前記金属管の歪み（ $\epsilon$ ）、前記光ファイバーの曲率半径（ $R$ ）および前記光ファイバーの光伝送損失量（ $\alpha$ ）との間で成り立つ関係式に基づき、前記金属管の長さ（ $L$ ）、前記金属管の内径（ $D$ ）および前記光ファイバーの初期曲率半径（ $R_0$ ）を決定することに特徴を有するものである。

【0011】この発明の光ファイバー歪みセンサーの製造方法（以下、「第4発明」という）は、所定長さの光ファイバーを、所定長さの金属管の一端から他端に向けて前記金属管の内周面に密着させてスパイラル状に形成させつつ挿入し、前記金属管の前記他端において前記光ファイバーの挿入の先端を受け止め、前記光ファイバーの挿入の後端を前記金属管の前記一端で押し止め、このようにしてスパイラル状に形成される前記光ファイバーの初期曲率半径を目標の設計値に調節することによって、前記金属管内部にスパイラル状に形成された前記光ファイバーを内接させることに特徴を有するものである。

【0012】この発明の光ファイバー歪みセンサーを用いた構造物の歪み測定方法（以下、「第5発明」とい

4

う）は、上述した第1発明の光ファイバー歪みセンサーを測定対象物の表面に対して溶接によって取り付け、このようにして取り付けられた前記光ファイバー歪みセンサーを用いることに特徴を有するものである。

【0013】

【作用】請求項1記載の発明の特徴は、金属管の内周面に密着して光ファイバーがスパイラル状に形成され、この光ファイバーは所定の内径の金属管の内部に挿入されている。このように、センサー部分の金属管の内部に光ファイバーをスパイラル状に形成するためには、この金属管の長さよりも、長い光ファイバーをこの金属管の内部に挿入すればよい。このように挿入された光ファイバーは、金属管の内壁に沿ってスパイラル状をなし、自ずからそのピッチおよび曲率を一定とする安定状態をとる。従って、光ファイバーを所定の形態に形成することができる。

【0014】請求項1記載の光ファイバー歪みセンサーの金属管は、測定対象物の変形に伴い変形し、この金属管の変形に追従して光ファイバーの曲率半径が変化する。従って、この光ファイバー歪みセンサーの金属管を、測定対象物に適正な方法で固定すれば、測定対象物の変形に伴う歪みは正確に金属管に歪みを生じさせ、これに伴い光ファイバーの曲率半径が正確に変化する。従って、光ファイバーの光伝送損失量の変化も正確となる。光伝送損失量の変化を測定することによって、金属管の歪みが測定され、従って、測定対象物の歪みおよび変形量が測定される。

【0015】請求項5記載の発明の特徴は、この発明の光ファイバー歪みセンサーを測定対象物の表面に対して溶接によって取り付け固定するので、上述したように、測定対象物の歪みが正確に光ファイバーの曲率半径を変化させる。

【0016】請求項4記載の発明の特徴は、所定長さの光ファイバーを、所定長さの金属管の一端から他端に向けて金属管の内周面に密着させてスパイラル状に形成させつつ挿入し、金属管の他端において光ファイバーの挿入の先端を受け止め、光ファイバーの挿入の後端を金属管の一端で押し止める。このようにしてスパイラル状に形成される光ファイバーの初期曲率半径を目標の設計値に調節する。従って、この製造方法は、金属管の内部に光ファイバーが挿入されたとき、光ファイバーが金属管内で安定状態を保持することを利用して行なうものである。従って、光ファイバーの曲率半径およびピッチが一定となる。

【0017】センサー性能

光ファイバー歪みセンサーが具備する性能を、下記2つによって表わすことができる。即ち、測定することができる歪みの範囲（以下、「歪み測定可範囲（ $\epsilon, \dots$ ）」という）およびセンサーの感度（以下、「センサー感度（ $s$ ）」という）である。

50

(4)

特開平9-14927

5

6

【0018】請求項2記載の製造方法は、上述したように、所定の内径および長さの金属管内に所定長さの光ファイバーがスパイラル状に内接した状態のものを製造する方法であるから、金属管の長さ(L)、光ファイバーの長さ(L<sub>r</sub>)、金属管の内径(D)および光ファイバーの直径(d)を決定すれば、上記LとL<sub>r</sub>とdとDと

\*と、更に金属管の歪み(ε)と、光ファイバーの曲率半径(R)との間の関係式において、歪みε=0とおくことによって光ファイバーの初期曲率半径(R<sub>0</sub>)を算定することができる。

【0019】例えば、前述の関係式として、下記(1)式：

$$R \approx \frac{(D-d) \cdot (1+\varepsilon)}{4 \{ (L_r/L) - (1+\varepsilon) \}} \quad (1)$$

但し、

R：曲率半径

L：金属管の長さ

L<sub>r</sub>：光ファイバーの長さ

10※ D：金属管の内径

d：光ファイバーの外径

ε：金属管の歪み(引張の場合は正、圧縮の場合は負)

※ があり、ε=0において得られる下記(1')式：

$$R_0 \approx \frac{D-d}{4 \{ (L_r/L) - 1 \}} \quad (1')$$

但し、

R<sub>0</sub>：初期曲率半径

に、L、L<sub>r</sub>、dおよびDを代入することによって、光ファイバーの初期曲率半径R<sub>0</sub>が求められる。

★【0020】また、光ファイバー歪みセンサーのL、L<sub>r</sub>、dおよびDが決まると、光ファイバーの巻き回数

(N)およびピッチ(p)が、下記(2)および(3)

★25 式：

$$N = \{ (L_r^2 - L^2)^{1/2} \} / \pi (D-d) \quad (2)$$

$$p = L/N \quad (3)$$

に基づき算出される。このようにして、光ファイバー歪みセンサーの「寸法・形状諸元」：L、L<sub>r</sub>、d、D、R<sub>0</sub>、Nおよびpが決まる。

☆と光ファイバーの曲率半径(R)との間の関係は、原理的にもまた実験的にも知られている。例えば、下記(4)式：

【0021】次に、光ファイバーの光伝送損失(α)☆

$$\alpha \approx 80 R^{-1.9} \quad (4)$$

但し、R：曲率半径(mm)

α：光伝送損失(dB)

がある。

◆【0022】センサー感度(s)

今、光ファイバーセンサーのセンサー感度(s)を、下

◆30 記(5)式：

$$s = |\Delta(\Delta\alpha) / \Delta\varepsilon| \varepsilon_0 \quad (5)$$

で表わすとすれば、(4)、(1)および(1')式から、

$$s \approx 1.9 \times 80 \{ R_0^{-1.9} + \frac{D-d}{4} \cdot R_0^{-0.9} \} \quad (6)$$

が誘導される。従って、(6)式の初期曲率半径R<sub>0</sub>に、(1')式に基づいて算出される初期曲率半径R<sub>0</sub>を代入することで、L、L<sub>r</sub>、Dおよびdよりセンサー感度(s)が求まる。

※【0023】歪み測定範囲(ε<sub>max</sub>)

歪み測定可能最大値(ε<sub>max</sub>)は、引張変形の場合は、光ファイバーの長さと同じ長さまで金属管が伸ばされた時であり、下記(8)式：

$$\varepsilon_{max} = (L_r - L) / L \quad (8)$$

で表わされる。また、圧縮変形の場合は、スパイラル状の光ファイバーが互いに接触する状態まで金属管が圧縮★

★された時であり、下記(8')式：

$$\varepsilon_{max} = 1 - \frac{L_r \cdot d}{L \cdot \{ \pi^2 (D-d)^2 + d^2 \}^{1/2}} \quad (8')$$

で表わされる。従って、金属管の長さ(L)、光ファイバーの長さ(L<sub>r</sub>)、金属管の内径(D)および光ファイ

バーの直径(d)より、(8)および(8')式に基づいて歪み測定範囲(ε<sub>max</sub>)が下記(9)式：

(5)

特開平9-14927

$$\frac{L_r \cdot d}{L \cdot \{\pi^2 (D-d)^2 + d^2\}^{1/2}} \leq \varepsilon_{\text{max}} \leq \frac{L_r - L}{L} \quad (9)$$

のように決まる。

【0024】請求項3記載の製造方法も、請求項2記載の製造方法と同様、所定の内径および長さの金属管内に所定長さの光ファイバーがスパイラル状に内接した状態のものを製造する方法であるから、金属管の長さ

(L)、光ファイバーの長さ(L<sub>r</sub>)、および光ファイ\*10  
D-d

$$R_0 \approx \frac{L_r}{4 \{ (L_r / L) - 1 \}} \quad (1')$$

但し、R<sub>0</sub>：初期曲率半径

において、L、L<sub>r</sub>およびR<sub>0</sub>を代入することによって、金属管の内径(D)と光ファイバーの直径(d)との差(D-d)を算定することができる。従って、Dおよびdは一定の制約条件の下で決まる。

【0026】次いで、上記L、L<sub>r</sub>、D、およびdを前記(2)および(3)式に代入することによって、センサ部分の光ファイバーの巻き回数(N)およびピッチ(p)が決まる。このようにして光ファイバー歪みセンサの寸法・形状諸元が決まると、上述したように(6)および(9)式からセンサの性能が決定される。

【0027】一般に、光ファイバー歪みセンサを製造する場合、その寸法・形状諸元の設定値に基づき光ファイバー歪みセンサを製造する。しかしながら、実際には、センサ性能が所望の値になるように寸法・形状諸元を定め、次いで光ファイバー歪みセンサの製造にとりかかる。請求項2および請求項3記載の発明においても、上述したセンサ性能が決まる工程を逆にたどることによって、はじめに所望のセンサ性能を決め、これに基づいて寸法・形状諸元を決定し製造段階に入る。

【0028】この発明の光ファイバー歪みセンサおよびその製造方法は上述したとおりであるから、測定対象物と測定目的等に適した光ファイバー歪みセンサを製造することができ、しかも、この発明の光ファイバー歪みセンサを用いた構造物の歪み測定方法により、測定対象物の歪みおよび変形量を精度よく、正確に測定することができる。なお、(6)式から明かなように、センサ感度を高く設定する場合は、初期曲率半径を小さくし、逆にセンサ感度を低くする場合には、初期曲率半径を大きくすればよい。

【0029】

※

$$R_0 \approx \frac{D-d}{4 \{ (L_r / L) - 1 \}} \quad (1')$$

で表され、また、R<sub>0</sub>またはR<sub>0</sub>と金属管1の歪みε(引張の場合は正、圧縮の場合は負)との関係は、例え

\*バーの初期曲率半径(R<sub>0</sub>)を定めると、上記LとL<sub>r</sub>とR<sub>0</sub>と金属管の内径(D)と光ファイバーの直径(d)との間の関係式から、Dおよびdの値が算定される。

【0025】例えば、前記(1')式：

※【実施例】次に、この発明の光ファイバー歪みセンサを実施例により、図面を参照して更に説明する。

【0030】図1は、この発明の光ファイバー歪みセンサの一実施態様を示す概略縦断面図。図2は、図1のAA'断面図である。

【0031】図1および図2において、1'は、光ファイバー歪みセンサであって、金属管1の内部にスパイラル状の光ファイバー2が内接して挿入されている。金属管1は、例えばステンレス製であり、管内径は1~2mm、管厚は0.1~0.2mmである。光ファイバー2は、単一モードであっても、多モードであってもよく、光ファイバー2は、光ファイバー素線の全表面を所謂一次被覆材(図示せず)で被覆されている。但し、被覆材の材質を限定するものではない。所望のセンサ性能を決めた後、光ファイバー歪みセンサ1'の寸法・形状諸元を上述した方法で決める。なお、同図に示した光ファイバー歪みセンサ1'の光ファイバー2に関しては、初期曲率半径を所定の値に設定することに最大の特徴がある。

【0032】図3は、この発明の光ファイバー歪みセンサ1'が長さ方向に引張力Tをうけて引張変形した場合の、初期状態に対する変形状態を示す概略縦断面図であり、図4は、この発明の光ファイバー歪みセンサ1'が長さ方向に圧縮力Cを受けて圧縮変形した場合の、初期状態に対する変形状態を示す概略縦断面図である。

【0033】光ファイバー2の曲率半径は、引張変形によって初期曲率半径R<sub>0</sub>から引張変形後の曲率半径R<sub>1</sub>に変化し、また、圧縮変形によって初期曲率半径R<sub>0</sub>から圧縮変形後の曲率半径R<sub>2</sub>に変化する。この場合、初期の曲率半径R<sub>0</sub>は、例えば、下記(1'')式：

ば、下記(1'')式：

50

(5)

特開平9-14927

9

10

$$(D-d) \cdot (1+\epsilon)$$

$$R, \text{ または } R_c \leftarrow \frac{(D-d) \cdot (1+\epsilon)}{4 \left[ (L_1/L) - (1+\epsilon) \right]} \quad (11c)$$

但し、D：金属管1の内径

d：光ファイバー2の外径

L：金属管1の長さ

L<sub>1</sub>：光ファイバー2の長さ

\*で表わされる。

【0034】一方、光ファイバーの曲率半径と光伝送損失との間には、例えば、下記(4)式：

$$\alpha \approx 80 R^{-1} \quad (4)$$

但し、R：曲率半径(mm)

α：光伝送損失量(dB)

の関係がある。光ファイバー歪みセンサーを測定対象物に溶接して取り付け、測定対象物が変形した場合の光伝送損失量の変化を測定し、(11c)および(4)式に基づき、金属管1の歪みを算出することによって、測定対象物の歪みおよび変形量を算定する。

【0035】図5は、この発明の光ファイバー歪みセンサーの一実施例の使用方を説明する図である。同図において、光ファイバー歪みセンサー1'はステンレス製固定フランジ3にスポット溶接され、そして、上記固定フランジ3は測定対象物であるパイプライン4にスポット溶接されている。光ファイバー歪みセンサー1'の一端から導出された光ファイバー2'の端部には、コネクタ5を介して光源6に接続され、そして、光ファイバー歪みセンサー1'の他端から導出された光ファイバー2'の端部には、別のコネクタ5を介してパワーメータ7に接続されている。

【0036】このように構成された装置において、パイプライン4に発生した歪みに応じて金属管1に歪みが発生し、これにより生じる光ファイバー2の曲率半径の変化により、光源6から発せられた光の光伝送損失量がパワーメータ7によって測定される。そこで、光ファイバーの曲率半径と光伝送損失との間の関係式：(4)式より光ファイバーの曲率半径を算定し、次いで、上記(11c)式に基づき、金属管1の歪みを算定し、パイプラインの歪みを求める。

【0037】光伝送損失量の測定方法としては、パワーメータ7による透過光を用いる方法の他、OTDR装置(光パルス試験器)による後方散乱光を用いる方法でもよい。また、センサー部分以外の光ファイバー2には、金属管に内接して挿入された光ファイバーをそのまま用いてもよいし、また、他の材料で被覆された光ファイバーを用いてもよい。

【0038】図6は、図5に示したこの発明による光ファイバー歪みセンサーの使用法によって、パイプラインの歪みを測定した結果の一例を示すグラフである。パイプラインの変形は圧縮変形である。ここで使用した光ファイバー歪みセンサー1'は、金属管1の内径(D)：0.7mm、光ファイバー2の外径(d)：0.25mm、金属管1の長さ(L)：200mm、光ファイバー2の長さ(L<sub>1</sub>)：200.6mmのもので

ある。

10 【0039】図6において、縦軸は光伝送損失量、横軸はパイプラインの歪みを示す。同図より、この実施例における歪みの測定量は0～0.8%であったことを示している。また、センサー感度(s)は、0.52dB/%である。

【0040】このように、歪みの測定範囲およびセンサー感度を自由に設定することができる光ファイバー歪みセンサーによって、光伝送損失量から構造物の歪みおよび変形量を求めることができ、また、測定対象物が鋼構造物の場合には、この光ファイバー歪みセンサーを溶接により容易に且つ確実に取り付けることができる。この発明の光ファイバー歪みセンサーを用いる測定系は、図5に示した構成に限られるものではない。また、この発明の金属管被覆光ファイバーの測定対象物への取付方法については、溶接による方法に限られず、金属管および測定対象物の材質に応じて接着等を適宜採用することができる。

【0041】

【発明の効果】上述したように、この発明によれば、構造物の測定対象物の歪み量および変形量を測定する場合、特に、：

(1) 光ファイバー歪みセンサーの製造時に、金属管の長さおよび内径および金属管内部の光ファイバーの外径と長さを自在に調整することで、歪み量測定範囲およびセンサー感度を自由に設定することができる。

(2) 金属管内の光ファイバーは、金属管の変形に対応して、自在に曲率半径が変化するので、金属管が固定された構造物の変形は、光ファイバーの曲率変化による光伝送量の変化となって示され、定量的な評価を精度よく行なうことができる。

(3) 構造物への光ファイバー歪みセンサーの取付けについては、構造物が鋼製であれば、溶接を用いることができるため、簡便、且つ、容易に行なうことができる。という効果が得られる光ファイバー歪みセンサーを提供することができる。工業上極めて有用な効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の光ファイバー歪みセンサーの一実施例を示す概略縦断面図である。

【図2】図1のA-A線断面図である。

【図3】この発明の光ファイバー歪みセンサーが長さ方



(7)

特開平9-14927

11

12

向に引張変形した場合、センサーの初期状態に対する変形後状態を示す概略縦断面図である。

【図4】この発明の光ファイバー歪みセンサーが長さ方向に圧縮変形した場合、センサーの初期状態に対する変形後状態を示す概略縦断面図である。

【図5】この発明の光ファイバー歪みセンサーの一実施例の使用方法を説明する図である。

【図6】図5に示した方法によって、パイプラインの歪みを測定した結果の一例を示すグラフである。

【図7】従来の光ファイバー歪みセンサーの一例を示す概略斜視図である。

【図8】図7に示した光ファイバー歪みセンサーをシステム化した一例の説明図である。

【符号の説明】

L センサー長

T 引張力

C 圧縮力

\* P 初期のスパイラルピッチ

P<sub>1</sub> 引張変形後のスパイラルピッチ

P<sub>2</sub> 圧縮変形後のスパイラルピッチ

1 金属管

1' 光ファイバー歪みセンサー

2 光ファイバー

2' 光ファイバー（光ファイバー歪みセンサーから導出された）

3 固定フランジ

4 パイプライン

5 コネクター

6 光源

7 パワーメーター

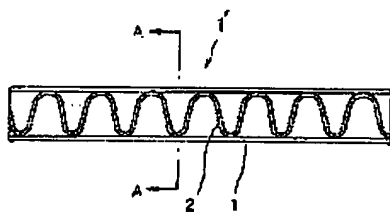
8 バイブ

9 従来の光ファイバー歪みセンサー

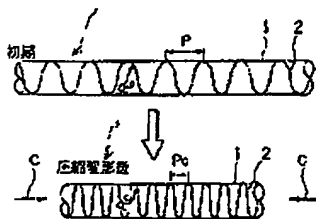
10 集光レンズ

\*

【図1】



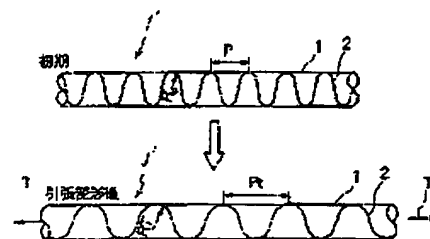
【図4】



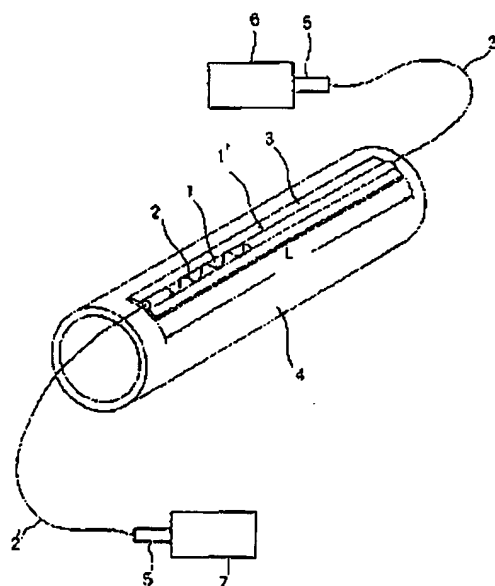
【図2】



【図3】



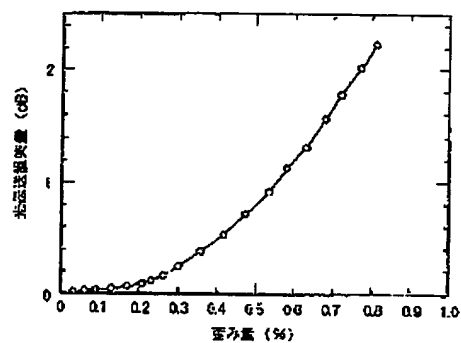
【図5】



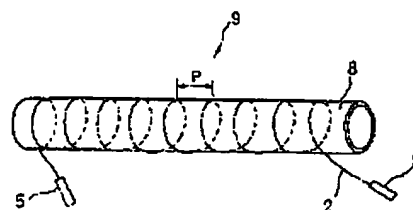
(8)

特開平9-14927

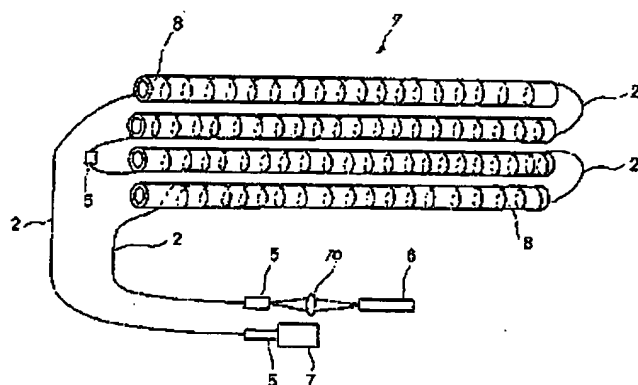
【図6】



【図7】



【図8】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**